

باکتریوفازها و آرکی ویروس‌ها

تألیف

دکتر احسان عارفیان

دانشیار دانشگاه تهران

دکتر زهرا فکری راد

استادیار دانشگاه شاهد تهران

فاطمه سعادت پور



شماره انتشار ۴۶۹۹

شماره مسلسل ۱۲۱۷۴

انتشارات دانشگاه تهران

سرنشانه	: عارفیان، احسان، ۱۳۵۸ -
عنوان و نام پدیدآور	: باکتریوفاژها و آرکی ویروس‌ها / تألیف احسان عارفیان، زهرا فکری‌راد، فاطمه سعادت‌پور.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات، ۱۴۰۳.
مشخصات ظاهری	: ۲۰۰ص.: مصور، جدول، نمودار.
فروست	: انتشارات دانشگاه تهران؛ شماره انتشار ۴۶۹۹.
شابک (چاپی)	: 978-964-03-7771-0
شابک (الکترونیکی)	: 978-964-03-7772-7
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه: ص. [۱۷۱] - ۱۷۹
یادداشت	: نمایه.
موضوع	: باکتری‌خوارها
موضوع	: Bacteriophages
موضوع	: باکتری‌خوارها - ژنتیک
موضوع	: Bacteriophages - Genetics
موضوع	: آرکی باکتری‌ها
موضوع	: Archaeobacteria
شناسه افزوده	: فکری‌راد، زهرا، ۱۳۶۵ -
شناسه افزوده	: سعادت‌پور، فاطمه، ۱۳۶۴ -
شناسه افزوده	: دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات. University of Tehran. Press.
رده‌بندی کنگره	: QR۳۴۲ ۱۴۰۴
رده‌بندی دیویی	: ۵۷۹/۲۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۹۸۸۲۲۱۰

این کتاب مشمول قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان است. تکثیر کتاب به هر روش اعم از فتوکپی، ریسوگرافی، تهیه فایل‌های pdf، لوح فشرده، بازنویسی در وبلاگ‌ها، سایت‌ها، مجله‌ها و کتاب، بدون اجازه کتبی ناشر مجاز نیست و موجب پیگرد قانونی می‌شود و تمامی حقوق برای ناشر محفوظ است.



عنوان: باکتریوفاژها و آرکی ویروس‌ها
 مؤلفان: دکتر احسان عارفیان - دکتر زهرا فکری‌راد - فاطمه سعادت‌پور
 ویراستار ادبی: پدram شهبازی بختیاری
 نوبت چاپ: اول
 تاریخ انتشار: ۱۴۰۴
 شمارگان: ۱۰۰ نسخه
 ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
 چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است»

بها: ۲.۸۰۰.۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران
 پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - تارنما: http://press.ut.ac.ir
 پخش و فروش: تلفکس ۸۸۳۳۸۷۱۲

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	ش
فصل اول - ساختار و ریخت‌شناسی فاژها.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ طبقه‌بندی فاژها.....	۶
۱-۲-۱ باکتریوفازهای دم‌دار <i>Caudoviricetes</i>	۸
۱-۱-۲-۱ مورفوتیپ <i>Myovirus</i>	۱۱
۲-۱-۲-۱ مورفوتیپ <i>Siphovirus</i>	۱۴
۳-۱-۲-۱ مورفوتیپ <i>Podovirus</i>	۱۵
۲-۲-۱ باکتریوفازهای فاقد دم.....	۱۶
۱-۲-۲-۱ باکتریوفازهای حاوی دی‌ان‌ای با کپسیدهای چندوجهی.....	۱۶
۲-۲-۲-۱ باکتریوفازهای حاوی RNA با کپسیدهای چندوجهی.....	۲۰
۳-۲-۲-۱ فاژهای رشته‌ای.....	۲۱
۴-۲-۲-۱ فاژهای چندشکلی.....	۲۴
۳-۱ ریخت‌شناسی فاژها.....	۲۹
۱-۳-۱ پروکپسید.....	۳۲
۲-۳-۱ کپسید.....	۳۲
۳-۳-۱ اتصالات.....	۳۳
۴-۳-۱ دم.....	۳۴
۵-۳-۱ دستگاه اتصال.....	۳۴
۴-۱ زیست‌شناسی تکاملی فاژ.....	۳۶
۱-۴-۱ تکامل فاژها در جوامع میکروبی.....	۳۶
۱-۱-۴-۱ محدودهٔ میزبان.....	۳۷

۳۸ ۲-۱-۴-۱ تعاملات اجتماعی و تبادلات ژنتیکی

۳۹ ۳-۱-۴-۱ انتخاب چرخه زندگی

۴۰ ۲-۴-۱ پیامدهای حضور جوامع فازی بر جوامع میکروبی

۴۰ ۱-۲-۴-۱ تأثیر بر بوم‌شناسی میکروبی

۴۱ ۲-۲-۴-۱ تأثیر بر تکامل میکروبی

فصل دوم- تکثیر و همانندسازی فازها ۴۵

۴۶ ۱-۲ مقدمه

۴۶ ۲-۲ ورود به سلول میزبان

۵۰ ۳-۲ همانندسازی و تکثیر

۵۱ ۱-۳-۲ همانندسازی و تکثیر فازهای دی ان ای دار

۵۱ ۱-۱-۳-۲ همانندسازی دی ان ای از نوع حلقه غلتان

۵۲ ۲-۱-۳-۲ همانندسازی دی ان ای نوع تتا (θ)

۵۳ ۳-۱-۳-۲ همانندسازی دی ان ای با پروتئین آغازگر

۵۴ ۴-۱-۳-۲ همانندسازی دی ان ای توأمان با رونویسی

۵۶ ۲-۳-۲ همانندسازی و تکثیر فازهای دارای ژنوم آر ان ای

۵۶ ۱-۲-۳-۲ فازهای دارای آر ان ای دورشته‌ای

۵۷ ۲-۲-۳-۲ فازهای دارای ژنوم آر ان ای تک رشته

۵۸ ۴-۲ خروج فاز از سلول میزبان

۶۰ ۵-۲ ساختارهای خاص خروج باکتریوفازها از سلول باکتری

۶۰ ۱-۵-۲ سوپرمونتاژ ویروس‌ها

۶۱ ۲-۵-۲ ابرساختارهای هسته‌ای

۶۱ ۳-۵-۲ هرم‌های ویروسی

فصل سوم- بوم‌شناسی فازها ۶۵

۶۶ ۱-۳ مقدمه

فهرست □ ج

۶۶	۲-۳ بررسی پراکندگی فاژها
۶۷	۱-۲-۳ روش های وابسته به کشت
۶۷	۲-۲-۳ روش های غیروابسته به کشت
۶۹	۱-۲-۲-۳ متاژنومیکس
۷۴	۳-۳ فاژها در محیط های آبی
۷۵	۴-۳ فاژها در محیط های خشکی

فصل چهارم- کاربرد فاژها در پزشکی

۷۷	۱-۴ مقدمه
۷۹	۲-۴ فاژها برای مقابله با عفونت های باکتریایی
۸۲	۱-۲-۴ اصلاح فاژها با اهداف درمانی
۸۳	۱-۱-۲-۴ اصلاح شیمیایی فاژها
۸۳	۲-۱-۲-۴ اصلاح ژنتیکی فاژها
۸۹	۳-۱-۲-۴ استفاده از فاژ برای مقابله با عفونت <i>E. coli</i>
۹۰	۴-۱-۲-۴ استفاده از فاژ برای مقابله با عفونت <i>S. aureus</i>
۹۱	۵-۱-۲-۴ استفاده از فاژ برای مقابله با عفونت <i>Chlamydia trachomatis</i>
۹۲	۶-۱-۲-۴ استفاده از فاژ در مقابله با عفونت <i>P. aeruginosa</i>
۹۲	۳-۴ مهندسی فاژها به منظور افزایش دامنه میزبانی
۹۴	۴-۴ هم افزایی اثر فاژ-آنتی بیوتیک
۹۵	۵-۴ تکامل هدایت شده در فاژ
۹۵	۶-۴ آنزیم های فاژی
۹۹	۷-۴ فاژ به عنوان حامل انتقال دارو در درمان عفونت های باکتریایی
۹۹	۸-۴ مطالعات بالینی فاژدرمانی
۱۰۲	۱-۸-۴ عفونت های ادراری برگشت کننده
۱۰۳	۲-۸-۴ رینوسینوزیت باکتریایی مزمن و عفونت گوش میانی
۱۰۳	۳-۸-۴ عفونت های پوستی

ح □ باکتریوفاژها و آرکی ویروس‌ها

- ۱۰۴-۴-۸ عفونت‌های تنفسی..... ۱۰۴
- ۱۰۴-۴-۵ عفونت‌های استخوان و مفاصل..... ۱۰۴
- ۱۰۵-۴-۶ عفونت‌های مرتبط با دستگاه‌های کاشتنی قلبی..... ۱۰۵
- ۱۰۵-۴-۹ فاژها ابزار برای حذف بیوفیلیم‌های باکتریایی..... ۱۰۵
- ۱۰۶-۴-۱ عوامل ایجاد مقاومت در بیوفیلیم..... ۱۰۶
- ۱۰۶-۴-۲ بیوفیلیم در دستگاه‌های پزشکی..... ۱۰۶
- ۱۰۸-۴-۳ فاژها ابزار برای حذف بیوفیلیم..... ۱۰۸
- ۱۰۴-۱۰-۱ درمان‌های ایمنی-دارویی مبتنی بر فاژ..... ۱۱۱
- ۱۰۴-۱۰-۱ هدف‌گیری تومور با فاژ..... ۱۱۱
- ۱۰۴-۱۰-۲ ایمنی‌زایی فاژ و درمان سرطان..... ۱۱۱
- ۱۰۴-۱۰-۳ اختلالات خودایمنی و ایمنی‌درمانی با فاژ..... ۱۱۴
- ۱۰۴-۱۰-۴ فاژدرمانی در اعتیاد به مواد مخدر..... ۱۱۴
- ۱۰۴-۱۰-۵ فاژها و استرس اکسیداتیو..... ۱۱۵
- ۱۰۴-۱۱-۱ پاسخ‌های ایمنی وابسته به فاژ..... ۱۱۵
- ۱۰۴-۱۱-۱ پاسخ‌های ایمنی ذاتی ضدفاژ..... ۱۱۶
- ۱۰۴-۱۱-۲ پاسخ ایمنی هومورال در برابر فاژ (پادتن‌های ضدفاژ)..... ۱۱۷
- ۱۰۴-۱۱-۳ ایمنی سلولی و پیامدهای تأثیر فاژ بر پاسخ‌های تطبیقی..... ۱۱۷
- ۱۰۴-۱۲-۱ محدودیت‌های استفاده از فاژ..... ۱۱۸
- ۱۰۴-۱۳-۱ استانداردهای اجرایی تجاری‌سازی داروهای بر پایه فاژها..... ۱۲۰
- ۱۰۴-۱۴-۱ نظارت بر محصولات و فرایندهای برپایه فاژ..... ۱۲۴

فصل پنجم- کاربرد فاژها در صنایع غذایی..... ۱۲۷

- ۱۲۸-۱ مقدمه..... ۱۲۸
- ۱۲۹-۲-۵ استفاده از فاژ در جلوگیری از مسمومیت‌های غذایی..... ۱۲۹
- ۱۳۰-۲-۱ باکتری‌های فاسدکننده غذا..... ۱۳۰
- ۱۳۰-۲-۲ استفاده از فاژ در فرایند ضدعفونی کردن سطوح در صنایع غذایی..... ۱۳۰

فهرست □ خ

- ۳-۲-۵ نگهداری مواد غذایی با استفاده از اندولیزین های فاژی ۱۳۱
- ۳-۵ کاربرد فاژها در بخش لبنیات ۱۳۲

فصل ششم- کاربرد فاژ در کشاورزی و آبی‌پروری ۱۳۵

- ۱-۶ کنترل باکتری های بیماری زا در کشاورزی ۱۳۶
- ۱-۱-۶ فاژدرمانی در کنترل بیماری های سیب زمینی ۱۳۸
- ۲-۱-۶ فاژدرمانی بیماری های گوجه فرنگی ۱۳۹
- ۳-۱-۶ فاژدرمانی سایر محصولات زراعی ۱۳۹
- ۴-۱-۶ فاژدرمانی درختان میوه ۱۳۹
- ۲-۶ فاژدرمانی در آبی‌پروری ۱۴۰
- ۳-۶ چالش های فاژدرمانی در صنایع کشاورزی و آبی‌پروری ۱۴۴

فصل هفتم- فاژها به عنوان حسگرهای زیستی ۱۴۷

- ۱-۷ مقدمه ۱۴۸
- ۲-۷ روش های تشخیصی مبتنی بر فاژ ۱۴۹
- ۱-۲-۷ پلاک سنجی ۱۴۹
- ۱-۱-۲-۷ نمایش فاژی برای بهبود پلاک سنجی ۱۵۰
- ۲-۲-۷ اندامگان های شاخص باکتریوفاژی (فاژ گزارشگر) ۱۵۱
- ۱-۲-۲-۷ ذرات فاژ ثابت شده به عنوان کاوشگر برای تشخیص باکتری ۱۵۱
- ۲-۲-۲-۷ حسگرهای زیستی نوری فاژ ۱۵۲
- ۳-۲-۲-۷ سنجش های مبتنی بر فلورسانس و بیولومینسانس ۱۵۲
- ۴-۲-۲-۷ حسگرهای مبتنی بر Phage-SPR و Phage-SERS ۱۵۴
- ۵-۲-۲-۷ حسگرهای رنگ سنجی فاژ ۱۵۴
- ۶-۲-۲-۷ حسگرهای مبتنی بر QCM فاژ ۱۵۵
- ۷-۲-۲-۷ حسگرهای زیستی الکتروشیمیایی مبتنی بر فاژ ۱۵۵
- ۸-۲-۲-۷ حسگرهای زیستی آمپرومتریک فاژ ۱۵۶

۱۵۷	فصل هشتم - کاربرد فازها در فناوری نانو
۱۵۸	۱-۸ مقدمه
۱۵۹	۲-۸ نمایش فاز و سیستم‌های تحویل مبتنی بر فاز
۱۶۲	۳-۸ کاربرد فازها در علوم مواد
۱۶۳	۱-۳-۸ مواد ضدباکتری
۱۶۵	۲-۳-۸ داربست‌های مبتنی بر فاز
۱۶۶	۳-۳-۸ فازها در الکتروشیمی، ذخیره انرژی و تولید
۱۶۸	۴-۳-۸ فازها در کاتالیز
۱۷۱	منابع
۱۸۱	نمایه

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ چرخه‌های تکثیر باکتریوفاز ۴
- شکل ۲-۱ مورفوتایپ باکتریوفازها ۸
- شکل ۳-۱ دندروگرام تولیدشده توسط GRAViTy برای ویروس‌های باکتریایی و آرکیایی حاوی دی‌ان‌ای دورشته‌ای ۱۰
- شکل ۴-۱ فازهای خانواده *Straboviridae* ۱۱
- شکل ۵-۱ فازهای خانواده *Ackermannviridae* ۱۲
- شکل ۶-۱ فازهای خانواده *Chaseviridae* ۱۳
- شکل ۷-۱ فازهای خانواده *Herelleviridae* ۱۳
- شکل ۸-۱ فازهای خانواده *Demereciviridae* ۱۴
- شکل ۹-۱ فازهای خانواده *Drexelvriidae* ۱۵
- شکل ۱۰-۱ فازهای خانواده *Autographiviridae* ۱۶
- شکل ۱۱-۱ فازهای خانواده *Microviridae* ۱۷
- شکل ۱۲-۱ فازهای خانواده *Corticoviridae* ۱۷
- شکل ۱۳-۱ فازهای خانواده *Tectiviridae* ۱۸
- شکل ۱۴-۱ فازهای خانواده *Sphaerolipoviridae* ۱۹
- شکل ۱۵-۱ فازهای خانواده *Turriviridae* ۱۹
- شکل ۱۶-۱ فازهای خانواده *Fiersviridae* ۲۰
- شکل ۱۷-۱ فازهای خانواده *Cystoviridae* ۲۱
- شکل ۱۸-۱ فازهای خانواده *Inoviridae* ۲۱
- شکل ۱۹-۱ فازهای خانواده *Lipothrixviridae* ۲۲
- شکل ۲۰-۱ فازهای خانواده *Rudiviridae* ۲۲
- شکل ۲۱-۱ فازهای خانواده *Spiraviridae* ۲۳
- شکل ۲۲-۱ فازهای خانواده *Tristromaviridae* ۲۴
- شکل ۲۳-۱ فازهای خانواده *Plasmaviridae* ۲۵
- شکل ۲۴-۱ فازهای خانواده *Fuselloviridae* ۲۵

- شکل ۱-۲۵ فازهای خانواده *Ampullaviridae* ۲۶
- شکل ۱-۲۶ فازهای خانواده *Bicaudaviridae* ۲۷
- شکل ۱-۲۷ فازهای خانواده *Guttaviridae* ۲۸
- شکل ۱-۲۸ فازهای خانواده *Globuloviridae* ۲۸
- شکل ۱-۲۹ اشکال مختلف باکتریوفازها با رنگ آمیزی منفی و عکسبرداری میکروسکوپ الکترونی ۲۹
- شکل ۱-۳۰ فرایند مونتاژ فازهای دم‌دار ۳۱
- شکل ۱-۳۱ بخش سر در کپسید باکتریوفاز T4 به صورت پرولات (A, C) و هم‌طول (B, D) ۳۳
- شکل ۱-۳۲ شکل شماتیک باکتریوفاز رشته‌ای Ff ۳۵
- شکل ۱-۳۳ پیامدهای عفونت هم‌زمان برای همه گیرشناسی فاز و تکامل ۳۸
- شکل ۱-۲ فرایند جذب و ورود فاز ۵۰
- شکل ۲-۲ همانندسازی دی ان ای از نوع rolling circle ۵۲
- شکل ۲-۳ همانندسازی دی ان ای نوع تتا (θ) ۵۳
- شکل ۲-۴ سازوکار تکثیر دی ان ای باکتریوفاز φ29 ۵۵
- شکل ۲-۵ سازوکار تکثیر دی ان ای باکتریوفاز T4 ۵۶
- شکل ۲-۶ همانندسازی و ترجمه ویروس با ژنوم آر ان ای دورشته‌ای ۵۷
- شکل ۲-۷ همانندسازی و ترجمه ویروس با ژنوم آر ان ای تک‌رشته‌ای مثبت ۵۸
- شکل ۲-۸ مسیر لیز فاز در میزبان‌های گرم منفی ۵۹
- شکل ۲-۹ سلول *E. coli* C990 آلوده به فاز phiX174 ۶۰
- شکل ۲-۱۰ ابرساختارهای هسته‌ای و توبولین ویروسی باکتریوفازهای *Pseudomonas* ۶۲
- شکل ۲-۱۱ هرم ویروسی، ساختارهای ظریف خروجی تولیدشده توسط ویروس‌های آرکیایی ۶۳
- شکل ۴-۱ پاسخ‌های ایمنی مبتنی بر فاز ۱۱۶
- شکل ۴-۲ مراحل تهیه سوسپانسیون فاز مناسب برای فازدرمانی، شامل غربالگری، تکثیر، خالص‌سازی، ذخیره‌سازی و فرمولاسیون ۱۲۱
- شکل ۴-۳ مسیر کلی ارزیابی کارایی یک دارو با ادعای فازدرمانی در بالین ۱۲۳
- شکل ۷-۱ تشخیص مبتنی بر فاز گزارشگر پاتوزن مورد نظر ۱۵۵
- شکل ۸-۱ نمایش طرح کلی از بیوپنینگ فاز ۱۵۹

فهرست □ ز

- شکل ۸-۲ نمایش شماتیک از حوزه‌های اصلی کاربرد باکتریوفازها در علم مواد. ۱۶۲
- شکل ۸-۳ فازها در ارتباط با مواد زیستی ۱۶۴
- شکل ۸-۴ جهت‌گیری فازهای متصل به سطح در میدان الکتریکی جهت افزایش میزان تشخیص باکتری ۱۶۵
- شکل ۸-۵ عملکرد بازسازی بافت نانوکامپوزیت با ویروس‌های مختلف ۱۶۶

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۳ روش‌های مستقل از کشت برای مطالعهٔ فاژها ۶۸
- جدول ۱-۴ فهرست فاژهای مهندسی شده به روش شیمیایی بر اساس نوع اصلاح انجام شده ۸۳
- جدول ۲-۴ مطالعات انجام شده با استفاده از مهندسی ژنتیک و به منظور اصلاح فاژ ۸۴
- جدول ۳-۴ فاژهای مهندسی شده (تا سال ۲۰۲۲) به منظور افزایش فعالیت ضدباکتریایی آنها ۸۵
- جدول ۴-۴ فهرستی از سویه‌های باکتریایی مطالعه شده تحت تیمار فاژهای مهندسی شده بر اساس نوع فاژ و هدف مطالعه از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۲۳ ۹۴
- جدول ۵-۴ لایزینهای مهندسی شده فاژی به همراه بخش‌های تغییر یافته، خصوصیت بهبود یافته و طیف میزبانی ۹۸
- جدول ۶-۴ مطالعات بالینی فاژدرمانی برای درمان عفونت‌های انسانی در انسان و مدل‌های حیوانی ۱۰۱
- جدول ۷-۴ استفاده از پوشش‌های فاژی در دستگاه‌ها و پروتزهای مصنوعی کاشتنی در بدن ۱۱۰
- جدول ۸-۴ روش‌های مجاز استفاده از داروهای بر پایهٔ فاژ در درمان عفونت‌های مختلف باکتریایی ... ۱۲۲
- جدول ۱-۶ فهرست فاژهای استفاده شده در کنترل زیستی بیماری‌های گیاهی ۱۳۷
- جدول ۲-۶ فهرستی از فاژهای مورد استفاده در کنترل زیستی باکتری‌های بیماری‌زا در صنعت آبی‌پروری .. ۱۴۲

پیشگفتار

در معرکه جنگ جهانی اول در سال ۱۹۱۵، فردریک ویلیام توارت (Frederick William Twort)، باکتری‌شناس انگلیسی، در مجله *لنست* گزارش کرد که عناصر باکتریولیتیک که احتمالاً از جنس آنزیم و یا دیگر ماکرومولکول‌های مشتق از خود باکتری‌ها هستند، کشت‌های استافیلوکوکس را مورد حمله قرار داده است. با کمی تأخیر و با اختلافی دوساله، وقتی میکروب‌شناس فرانسوی، فلیکس جی هرل (Félix d'Hérelle)، بر روی بیماران دچار اسهال خونی کار می‌کرد، اولین کار آزمایشی بالینی رسمی موفقیت‌آمیز با فاژ علیه این بیماری را روی یک پسر بچه دوازده‌ساله با وضعیت به شدت وخیم ثبت کرد و موجب بهبودی کامل او شد. او در حالی که دقیقاً نمی‌دانست جنس این درمان چیست، یک گام به جلو گذاشت و در گزارشش آورد که عامل کشنده، یک اندامگان زیست‌شناختی^۱ است که تکثیر می‌شود و از باکتری‌ها تغذیه می‌کند؛ پس باکتریوفاژ نامیدش، یعنی باکتری‌خوار. در سال ۱۹۱۷، زمانی که فلیکس معلول را می‌دید و علت را نمی‌دانست، پیشنهاد کرد که برای مقابله با مقاومت باکتری‌ها از مخلوطی از منابع مختلف باکتریوفاژها استفاده شود. وقتی قوی‌ترین میکروسکوپ ممکن تا آن زمان، یعنی میکروسکوپ الکترونی، در سال ۱۹۳۱ توسط ارنست روسکا ساخته شد، شرکت زیمنس با سرمایه‌گذاری بر روی این محصول، ویلموس روسکا، پزشک و زیست‌شناس آلمانی، را به استخدام درآورد تا این فناوری را به کار گیرد. سال ۱۹۳۹، یعنی چهار سال بعد از آنکه اولین تصویر از ویروس موزائیک تنباکو به‌عنوان اولین ویروس گرفته شده بود، ساختار باکتریوفاژ نیز عیان شد.

از ۱۹۳۹ تا کنون، علم ویروس‌ها تاریخ پرشتابی را گذرانده است. اگرچه تا شروع قرن بیستم، داشته‌های بشری در مورد باکتریوفاژها صرفاً محدود به فاژهای باکتری *E. coli* و دست‌ورزی‌های ژنتیکی آنها بود، ولی در بیست سال اخیر، این دانش گسترش چشمگیری پیدا کرده است، به طوری که در سال ۲۰۲۱، کمیته آرایه‌شناسی^۲ و نام‌گذاری ویروس‌ها، طبقه‌بندی باکتریوفاژها را متحول کرده است. در حال حاضر، گروه‌های زیادی در دنیا برای شناسایی باکتریوفاژهای جدید با طیف‌های میزبانی متفاوت سرمایه‌گذاری کرده‌اند. در این زمینه توسعه مقاومت‌های آنتی‌بیوتیکی نیز موجب شده تا مطالعه

1- biological organism

2- taxonomy

باکتریوفازها علاقه‌مندان جدیدی را به خود جلب کند. در سال‌های اخیر، سرفصل‌های مرتبط به باکتریوفازها و ویروس‌های میکروبی، در قالب برنامه آموزشی درس ویروس‌شناسی برای دانشجویان کارشناسی، و درس «فازها و ویروس‌های میکروبی» برای دانشجویان کارشناسی ارشد میکروبیولوژی گرایش بیوسیستماتیک و بوم‌شناسی ارائه شده است که لزوم تدوین مرجعی جامع را به فارسی دوچندان نموده است. بدین منظور، با مساعدت همکاران، در کنار اطلاعات پایه‌ای و با نگاهی به جدیدترین یافته‌ها به بررسی کاربردهای مختلف فاز در حیطه‌ها و صنایع گوناگون پرداخته‌ایم. با مطالعه کتاب پیش رو، خواننده پس از آشنا شدن با ساختار و ریخت‌شناسی فازها، با نحوه تکثیر و همانندسازی این ریزاندامگان‌ها^۱ آشنا می‌شود. در بخش بعدی، به مباحث بوم‌شناختی و نحوه پراکندگی فازها پرداخته شده است. در ادامه، خواننده با کاربردهای متنوع فازها در علم پزشکی، صنایع غذایی، آبی‌پروری و هم‌چنین کاربرد فاز به‌عنوان حسگرهای زیستی آشنا خواهد شد. دانشجویان رشته‌های علوم پایه زیستی و علوم پایه پزشکی با مطالعه این کتاب دانش کافی و روزآمدی از فازها به دست می‌آورند که آنها را در تفکر خلاقانه برای پروژه‌های مبتنی بر فاز یاری خواهد کرد. در این کتاب سعی شده است که مطالب در حد امکان با بیانی قابل فهم و ساده ارائه شوند تا برای دانش‌آموزان علاقه‌مند و افرادی که تحصیلات غیرزیستی دارند نیز قابل استفاده باشد. امید است این کتاب، روشن‌کننده راه خوانندگان آن در مسیر علم‌آموزی و پژوهشگری باشد.